

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-194196

(43)Date of publication of application : 30.07.1996

(51)Int.CI.

G02F 1/055

(21)Application number : 07-004513

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 13.01.1995

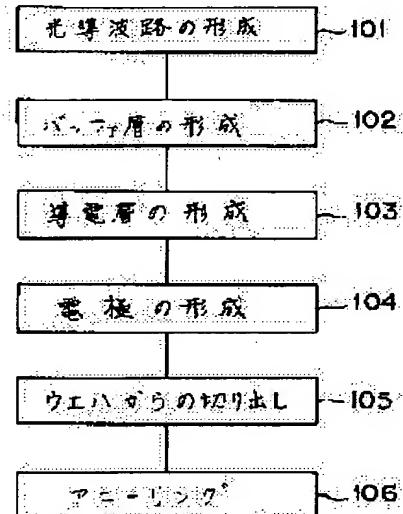
(72)Inventor : HAKOGI HIRONAO

## (54) PRODUCTION OF OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE

### (57)Abstract:

PURPOSE: To produce an optical waveguide device good in operational stability by forming an electrode on a substrate and annealing the substrate and electrode at high temps.

CONSTITUTION: Ti is thermally diffused into the wafer consisting of Z-cut LiNbO<sub>3</sub> used as the base material of a substrate to form plural optical waveguides in 101. Each waveguide includes a branch waveguide. A buffer layer is then formed on the wafer in 102, and a conductive layer is formed on the buffer layer in 103. A signal electrode and a grounded electrode are formed for each waveguide in 104, and a light modulator is cut out from the wafer. The modulators corresponding in number to the optical waveguides are obtained in 105. Finally, each light modulator is annealed at high temps. in 106. Since the modulator is cut out from the wafer and then annealed, the possibility of electric discharge is reduced.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 21.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-194196

(43)公開日 平成8年(1996)7月30日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 F 1/055

識別記号

厅内整理番号

5 0 5

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平7-4513

(22)出願日

平成7年(1995)1月13日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72)発明者 箱木 浩尚

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 松本 昂

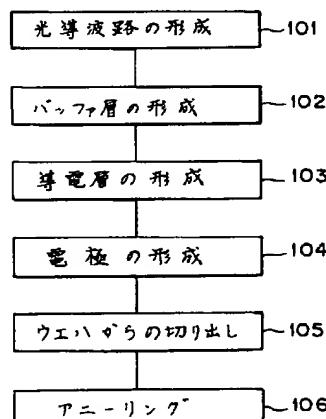
(54)【発明の名称】 光導波路デバイスの製造方法

(57)【要約】

【目的】 本発明は非対称な少なくとも2つの電極を有する光導波路デバイスの製造方法に関し、動作安定性が良好な光導波路デバイスの製造方法の提供を目的としている。

【構成】 基板2上に電極12, 14を形成するステップと、基板2及び電極12, 14について高温下でアニールを行って光導波路デバイスの動作特性を安定化させるステップとから構成する。

製造工程図



1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 強誘電体結晶からなる基板に形成された光導波路に電界を加える非対称な少なくとも2つの電極を有する光導波路デバイスの製造方法であって、

上記基板に上記電極を形成する第1のステップと、

上記基板及び上記電極について高温下でアニールを行って上記光導波路デバイスの動作特性を安定化させる第2のステップとを備えた光導波路デバイスの製造方法。

【請求項2】 上記光導波路デバイスをウエハから切り出すステップをさらに備え、

該ステップの後に上記第2のステップが行われる請求項1に記載の光導波路デバイスの製造方法。

【請求項3】 上記第2のステップは、上記電極の少なくとも一部の電気抵抗を測定するステップを含み、その測定値の変化が飽和したことをもって上記動作特性が安定化したことが確認される請求項1に記載の光導波路デバイスの製造方法。

【請求項4】 上記光導波路デバイスはマッハツエンダ型光変調器である請求項1に記載の光導波路デバイスの製造方法。

【請求項5】 上記光導波路デバイスは、上記基板の上記光導波路の近傍に形成されたダミー光導波路と、該ダミー光導波路に電界を加える対称な少なくとも2つのダミー電極とをさらに有し、

上記ダミー光導波路及び上記ダミー電極は上記マッハツエンダ型光変調器と同等の光学的特性を有するダミー光変調器を構成し、

上記第2のステップは、上記マッハツエンダ型光変調器の動作点が上記ダミー光変調器の動作点に等しくなったことをもって上記動作特性が安定化したことが確認される請求項4に記載の光導波路デバイスの製造方法。

【請求項6】 上記強誘電体結晶がニオブ酸リチウムである請求項1に記載の光導波路デバイスの製造方法。

【請求項7】 上記強誘電体結晶がタンタル酸リチウムである請求項1に記載の光導波路デバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、強誘電体結晶からなる基板に形成された光導波路に電界を加える非対称な少なくとも2つの電極を有する光導波路デバイスの製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) やタンタル酸リチウム ( $\text{LiTaO}_3$ ) 等の強誘電体結晶からなる基板の表面に  $\text{Tl}$  等の金属或いはその酸化物を熱拡散させることにより光導波路を形成してなる光導波路電子子は、低損失、広帯域であると共に、ブレーナ技術を用いて量産が可能であるという特徴を有しており、広く研究、開発され、実用段階に至っている。特に、光導波路に対応して強誘電体結晶基板上に電極を配置し、電極

に印加する電圧を制御することにより光導波路の屈折率を調整し、これにより変調動作等を行うようにした光変調器その他の光導波路デバイスがその高速性から注目されている。

【0003】 この種の光導波路デバイスとしては、例えば、Y分岐型、交差(X)型、方向性結合器型、マッハツエンダ型(分岐緩衝型)、バランスプリッジ型のものが知られている。

【0004】 Y分岐型光スイッチは、光導波路分岐部の屈折率を印加電圧により制御して分岐比を変えることによりスイッチング動作を行うようにした  $1 \times 2$  スイッチであり、多段化することにより  $1 \times N$  のマトリックススイッチが得られる。

【0005】 交差(X)型光スイッチは、光導波路の交差部の屈折率を印加電圧により制御することにより、回折、全反射、モード干渉のいずれかによりスイッチング動作を行う  $2 \times 2$  スイッチであり、多段化することにより  $N \times N$  のマトリックススイッチを得ることができる。

【0006】 方向性結合器型光スイッチは、2本の平行な光導波路を近接させた場合に起こる光パワーの移行を支配している2本の光導波路間の位相差を印加電圧による屈折率変化で制御する  $2 \times 2$  スイッチであり、やはり多段化することにより  $N \times N$  のマトリックススイッチを構成することができる。

【0007】 マッハツエンダ型光変調器は、その両端が結合された2本の光導波路間で、電圧印加により分岐後の両光に位相差が生じるように屈折率を変化させ、結合時の干渉により変調動作を行うようにしたものである。

【0008】 バランスプリッジ型光スイッチは、方向性結合器型とマッハツエンダ型を組み合わせることにより、 $2 \times 2$  光スイッチを構成したものであり、動作原理はマッハツエンダ型とほぼ同じである。

【0009】 ここで、マッハツエンダ型光変調器を例にとり、その構成及び動作を簡単に説明する。マッハツエンダ型光変調器は、例えば、Zカットされたニオブ酸リチウムの基板の表面に、チタンを熱拡散させて屈折率を高めることによりその両端部近傍でそれぞれ結合された一对の光導波路を形成し、その上に  $\text{SiO}_2$  からなるバッファ層を形成し、更にこれの上に各光導波路に対応して一对の金属電極を形成して構成される。電極の一方は信号電極であり、他方は接地電極である。

【0010】 入射された光は分岐されて、一对の光導波路に至り、ここで信号電極及び接地電極間に駆動電圧が加えられることにより、電気光学効果により、分岐された両光に位相差が生じる。これら両光を再び結合させて光信号出力として取り出す。

【0011】 両光の位相差が  $0, \pi$  になるように駆動電圧を設定すれば、例えば、オン-オフのデジタル信号を得られる。

## 【0012】

3

【発明が解決しようとする課題】ところで、前述したマッハツエンダ型光変調器においては、DC電圧の印加により動作点が変動したり(DCドリフト)、温度変化により動作点が変動する(温度ドリフト)ため、動作安定性に欠けるという問題がある。後者の温度ドリフトは、強誘電体結晶が電気光学効果だけでなく焦電効果(温度変化により結晶表面に電荷が発生する現象)や光弾性効果(機械的ひずみの印加により屈折率が変化する現象)を呈することに起因している。

【0013】焦電効果による温度特性は、強誘電体結晶と電極との間にバッファ層(例えば $S_1O_2$ )及び導電性膜(例えば $S_1I$ )を介在させることにより大幅に改善されることが知られている。光弾性効果の影響は、強誘電体結晶が電極から受けるひずみが経時に変化するために、動作点が徐々に変動するという問題を内在している。

【0014】以上、マッハツエンダ型光変調器が有する問題点について説明したが、この問題は強誘電性結晶を有する光導波路デバイスに共通のものである。本発明の目的は、動作安定性が良好な光導波路デバイスの製造方法を提供することにある。

#### 【0015】

【課題を解決するための手段】本発明によると、強誘電体結晶からなる基板に形成された光導波路に電界を加える非対称な少なくとも2つの電極を有する光導波路デバイスの製造方法であって、上記基板上に上記電極を形成する第1のステップと、上記基板及び上記電極について高温下でアニールを行って上記光導波路デバイスの動作特性を安定化させる第2のステップとを備えた光導波路デバイスの製造方法が提供される。

#### 【0016】

【作用】ニオブ酸リチウム等の強誘電体結晶の誘電率は高いので、強誘電体結晶からなる基板上に電極を形成して光導波路デバイスを製造する場合には、その高速動作性を確保するために、電極を厚く形成することが有効である。そのための電極形成方法として、金メッキによるものがある。通常、メッキは $80^{\circ}C$ 前後の温度下で行われるので、メッキにより形成された電極には内部応力が発生しており、この応力により電極の下の光導波路にひずみが生じ、その屈折率が変化することとなる。

【0017】この屈折率変化により、例えばマッハツエンダ型光変調器にあっては、応力が加わっていない場合と比べて動作点電圧がずれる。また、電極の内部応力が緩和される過程において、動作点が経時変化することとなる。

【0018】もし、光導波路に電界を加えるための電極が光導波路に対して対称な形状を有しているとすれば、光導波路には均等なひずみが生じるので上述の動作点のずれは軽減なものではない。

【0019】しかし、光導波路に電界を加えるための電

10

極が非対称な形状を有している場合には、温度ドリフトは実用上甚だ有害である。非対称な形状を有する電極は、高速変調用のマッハツエンダ型光変調器に代表されるような進行波型の光導波路デバイスにおいて使用される。進行波型のマッハツエンダ型光変調器においては、信号電極を伝播する電気信号と光導波路を伝播する光とが同じ方向に進行するようにするために信号電極は光導波路に沿って細長く形成されており、これに対して、接地電極は、広帯域化を図るために大きな面積を有するよう設計される。このような信号電極及び接地電極の非対称性により温度ドリフトは避けられない。

【0020】発明者の実験によると、電極に生じた内部応力は高温下でアニールを行うことによって緩和され、また、アニール温度が高いほど緩和に要する時間が短くなることが明らかになった。

【0021】本発明の光導波路デバイスの製造方法においては、強誘電体結晶からなる基板に電極を形成した後に、基板及び電極について高温下でアニールを行うようしているので、経時変動を解消して光導波路デバイスの動作特性(例えばマッハツエンダ型光変調器の動作点)を安定化させることができる。

#### 【0022】

【実施例】以下、本発明の実施例を添付図面に沿って詳細に説明する。図1は本発明を適用可能なマッハツエンダ型光変調器の一例を示す平面図、図2はA-A断面図である。この光変調器は、Zカット $L_1NbO_3$ (ニオブ酸リチウム)からなる基板に $T_1$ (チタン)を熱拡散させて光導波路を形成し、この光導波路に電界を印加させるための各電極を設けて構成されている。

【0023】基板2上に形成された光導波路は、図示しない光源からの光が供給される入力ポート4と、入力ポート4からの光を二分岐して伝播させる一対の分岐導波路6及び8と、分岐導波路6及び8の伝播光を合流して出力する出力ポート10とを有している。

【0024】一方の分岐導波路6上には信号電極12が設けられており、他方の分岐導波路8上には接地電極14が設けられている。基板2と各電極との間には、 $S_1O_2$ 等の絶縁体からなるバッファ層16と、各電極の抵抗率よりは十分に大きいが電荷の移動を可能にする程度の抵抗率を有する $S_1$ 等からなる導電層18とがこの順に積層されている。導電層18は焦電効果による温度特性の変動を抑制するためのものである。尚、バッファ層16及び導電層18は図面が不明瞭にならないように図1には図示されていない。

【0025】駆動信号は信号電極12と接地電極14の間に印加される。信号電極12は、駆動信号により電界が分岐導波路6の伝搬光の伝搬方向と同一の方向に伝搬するように、進行波型に構成されている。即ち、信号電極12は分岐導波路6に沿って細長く形成されている。

【0026】これに対して、接地電極14は、広帯域化

を図るために、十分に大きな面積を有するように設けられている。このような信号電極12及び接地電極14の非対称性により動作点ドリフトが生じることは前述した通りである。

【0027】駆動信号は、信号電極12の上記伝搬方向上流側の端部12Aから供給される。また、信号電極12の上記伝搬方向下流側の端部12Bと接地電極14の間には例えば50Ωの最終抵抗器が接続される。

【0028】信号電極12を進行波型に構成することによって、そうでない場合と比較してより高速な変調が可能になる。図3は、図1及び図2に示される光変調器2の入出力特性を示す図である。符号20は動作点ドリフトを生ずる前の特性を示し、符号22は動作点ドリフトを生じた場合の特性を示す。

【0029】ここで、「動作点ドリフト」は、出力光強度と駆動電圧の関係を表す動作特性曲線の電圧増減方向へのドリフトのことである。マッハツエンダ型光変調器の動作特性曲線は、図示されるように電圧の変化に対して周期性を有する。

【0030】従って、駆動信号の各論理値（「0」及び「1」）に対応して出力光強度の極小値及び極大値が得られる駆動電圧V<sub>0</sub>及びV<sub>1</sub>を用いることにより、効率的な2値変調を行うことができる。

【0031】出力される光信号にあっては、動作点ドリフトが発生するときに、駆動電圧V<sub>0</sub>及びV<sub>1</sub>が一定であると、上述の周期性により波形歪み及び消光比劣化が生じる。このため、動作点ドリフトが発生したときに、そのドリフトをdV<sub>0</sub>とすると、駆動電圧V<sub>0</sub>及びV<sub>1</sub>をそれぞれV<sub>0</sub>+dV<sub>0</sub>及びV<sub>1</sub>+dV<sub>1</sub>として、動作点ドリフトを補償することができ望ましい。

【0032】動作点ドリフトを補償するための自動バイアス制御回路としては、例えば、駆動信号の一方又は両方の論理レベルに低周波信号を重畳して光変調器を駆動し、出力される光信号から検出される低周波信号の位相により動作点を制御するようにしたものが知られている。

【0033】しかし、このような自動バイアス制御回路が採用されている場合であっても、駆動信号の振幅が約5Vであるのに対して温度ドリフトが1~2Vあることを考慮すると、動作点の初期設定の容易化という観点からは、ドリフトはできるだけ小さいことが望ましい。

【0034】本実施例では、動作点ドリフト、特に温度ドリフトをできるだけ小さく抑えるために、次のような製造工程が採用される。図4は、本発明の実施例におけるマッハツエンダ型光変調器の製造工程を示すフローチャートである。まず、ステップ101では、図2の基板2の母材となるZカットL<sub>1</sub>NbO<sub>3</sub>からなるウエハ24（図5参照）にT<sub>1</sub>を熱拡散させて複数の光導波路26を形成する。各光導波路には図2の分岐導波路6及び8がそれぞれ含まれている。光導波路26の形成に際し

ては、レジスト及びマスキングを用いた通常のブレーナ技術を採用することができる。

【0035】続いてステップ102では、図2のバッファ層16に相当するバッファ層がウエハ24上に形成される。そしてステップ103では、バッファ層の上に図2の導電層18に相当する導電層が形成される。

【0036】さらにステップ104では、図2の信号電極12及び接地電極14がそれぞれの光導波路26に対して形成される。しかし後、ステップ105では、各光変調器がウエハ24から切り出され、光導波路26の数に相当する数の光変調器が得られる。

【0037】最後にステップ106では、各光変調器について高温下でのアニーリングが行われる。ここで、光変調器をウエハから切り出した後にアニーリングを行っているのは次の理由による。即ち、ウエハの今までアニーリングを行うと、加熱に際して焦電効果によりウエハの表裏面に生じる大きな電位差によって表裏面間で放電が生じ、ウエハの縁に位置する光導波路等が破壊される恐れがあるのでに対して、各光変調器を切り出した後であれば、その表面積がウエハの全表面積よりも十分に小さいことにより放電の恐れが少ないからである。

【0038】図6はアニーリングに際しての動作点の経時変動を示すグラフである。縦軸は動作点の変化（V）、横軸は時間（Hr）を表している。このグラフは、同一条件で製作されたマッハツエンダ型光変調器を85°C及び110°Cの各温度でアニーリングした場合の経過時間とその各経過時間後に常温に戻して測定した動作点電圧の変化との関係を示している。アニーリングを行うことにより、動作点が飽和し、動作点の安定化が可能になっている。

【0039】これは、80°C前後でメッキにより作成された金電極の構造内部或いはその直下の光導波路に生じた内部応力がアニーリングにより緩和されることや、メッキに際して金電極の内部に残留した不純物がアニーリングにより蒸発して金電極が粗構造になり基板への応力が小さくなることが要因と考えられる。

【0040】発明者の実験によると、アニーリングに際しての動作点の変化に伴って、接地電極及び信号電極の電気抵抗が変化することが明らかになった。即ち、例えば信号電極の両端の電気抵抗を測定しながらアニーリングを行うと、電気抵抗の測定値は図6における動作点の変化と同様に変化するのである。

【0041】従って、信号電極又は接地電極の少なくとも一部の電気抵抗を測定しながらアニーリングを行い、電気抵抗の測定値の変化が飽和したことをもって動作特性が安定したと確認することができる。

【0042】この発見は極めて重要である。なぜならば、動作点の変化を実際に測定するためには光導波路に光を結合させておく必要があり、そのためには一般に光導波路の端部に光ファイバを結合しておくわけである

が、この場合光ファイバの使用可能温度に制限されてあまり高温でのアニーリングを行うことができないからである。つまり、電極の電気抵抗の測定によって動作点の変化の測定に代えることによって、アニーリング温度の制限がなくなるのである。

【0043】動作点の安定化は次のようにして知ることもできる。ここでは、基板の光導波路の近傍にダミー光導波路とダミー光導波路に電界を与える対称な少なくとも2つのダミー電極とからなるダミー光変調器を設けておき、特性を安定化させるべきマッハツエンダ型光変調器の動作点がダミー光変調器の動作点に等しくなったことをもってアニーリングを終了させる。ダミー光変調器はマッハツエンダ型光変調器と同等の光学的特性を有するように設定される。この設計は容易である。なぜならば、ブレーナ技術によって極めて近似した形状の光導波路を基板上に形成することができるからである。

【0044】以上の実施例はマッハツエンダ型光変調器についてのものであるが、本発明はバランスブリッジ型光スイッチその他の光導波路デバイスにも適用可能である。また、基板の材質がニオブ酸リチウムであるとしたが、タンタル酸リチウム(LiTaO<sub>3</sub>)その他の強誘電体結晶からなる基板を用いた光導波路デバイスにも本

発明は適用可能である。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、動作安定性が良好な光導波路デバイスの製造方法の提供が可能になるという効果が生じる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用可能なマッハツエンダ型光変調器の一例を示す平面図である。

【図2】図1におけるA-A断面図である。

【図3】マッハツエンダ型光変調器の動作特性を示す図である。

【図4】本発明の実施例における製造工程を示すフローチャートである。

【図5】本発明の実施例におけるウエハの平面図である。

【図6】本発明の実施例における動作点変化と時間の関係を表すグラフである。

【符号の説明】

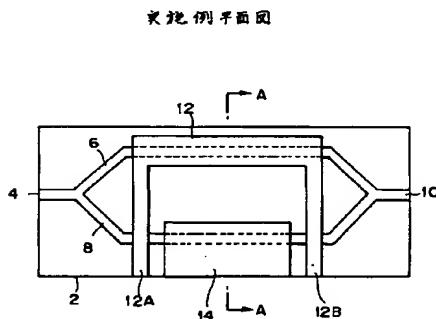
2 基板

6, 8 分岐光導波路

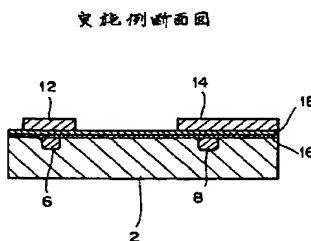
12 信号電極

14 接地電極

【図1】

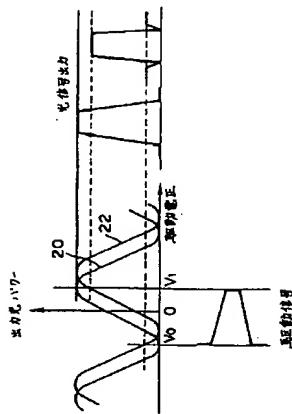


【図2】



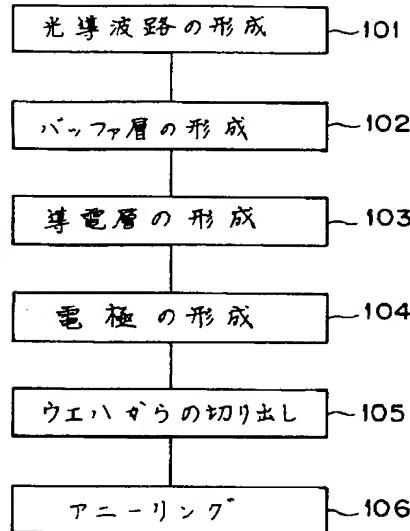
【図3】

動作特性を示す図



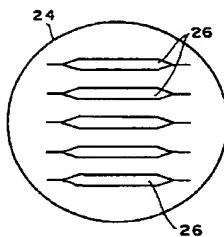
【図4】

## 製造工程図



【図5】

ウエハの平面図



【図6】

動作点変化と時間の関係を表すグラフ

